

97P3570



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 44 20 800 A 1

⑤1 Int. Cl. 6:  
G 05 B 13/00



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑳ Aktenzeichen: P 44 20 800.6  
㉔ Anmeldetag: 16. 6. 94  
㉕ Offenlegungstag: 21. 12. 95

BEST AVAILABLE COPY

DE 44 20 800 A 1

⑦1 Anmelder:  
Roß, Fred, Dr., 98693 Ilmenau, DE

⑦2 Erfinder:  
Döring, Ulf, 98693 Ilmenau, DE; Roß, Fred, Dr., 98693 Ilmenau, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:  
DE 42 42 218 A1  
BOLL, Marco;  
u.a.: Analyse von Fuzzy-Reglern in der  
Zustandsebene. In: at, Automatisierungstechnik 41,  
1993, 5, S.145-151;  
MEYER-GRAMANN, Klaus Dieter;  
JÜNGST, Ernst-Werner: Fuzzy Control - schnell und  
kostengünstig implementiert mit Standard-Hardware.  
In: at-Automatisierungstechnik 41, 1993, 5,  
S.166-172;

⑤4 Fuzzy-PID-Regler

⑤7 Die Erfindung betrifft einen Fuzzy-Regler, welcher PID-Verhalten, bei Weglassen eines oder mehrerer Anteile das Verhalten der bzw. des verbleibenden Anteils aufweist. Aufgabe der Erfindung ist es, den Fuzzy-PID-Regler dahingehend zu verbessern, daß die bei der Ermittlung der Stellgröße benötigte Rechenzeit verkürzt sowie das Regelverhalten robuster wird. Dies geschieht dadurch, daß durch Einschränkung der verwendeten Zugehörigkeitsfunktionen die Regelmenge auf zwei Regeln minimiert wird, wobei die Fuzzifizierungs-, Inferenz- und Defuzzifizierungsmethoden frei wählbar sind.

DE 44 20 800 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Fuzzy-Regler, bestehend aus

- einem Fuzzyfizierer zur Erzeugung von Zugehörigkeitsgraden der aktuellen Reglereingangsgrößen in Bezug auf die im Regelalgorithmus modellierten Eingangs-Fuzzymengen,
- einer Inferenzmaschine zur Verknüpfung der Eingangs-Fuzzymengen auf der Basis von abgespeicherten Regeln und zur Erzeugung von zu jeder Regel gehörenden Ausgangs-Fuzzymengen
- und einem Defuzzifizierer zur Erzeugung von scharfen, kontinuierlich veränderlichen Ausgangsstellgrößen anhand der Gesamtheit der Ausgangs-Fuzzymengen.

Derartige Fuzzy-Regler sind nach dem Stande der Technik bekannt.

Diese Fuzzy-Regler eignen sich aufgrund des heuristischen Ansatzes besonders für Regelvorgänge, die aufgrund der Komplexität der Wirkungszusammenhänge oder aufgrund von Schwierigkeiten bei der Gewinnung von exakten Eingangskenngrößen mit herkömmlichen Reglern nur schwer in den Griff zu bekommen sind.

Die nach dem Stand der Technik bekannten Fuzzy-Regler der genannten Art sind jedoch aufgrund der verwendeten Zugehörigkeitsfunktionen und deren Anzahl innerhalb einer Fuzzymenge und der Regelmengenzahl sehr rechenzeitaufwendig. Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, einen Fuzzy-Regler der eingangs genannten Art dahingehend zu entwickeln, daß der mathematische Aufwand für die Inferenz deutlich verringert, der Reglerentwurf beschleunigt und das Regelverhalten robuster wird.

Der erfindungsgemäße Fuzzy-Regler verwendet hierzu bei Verwendung der Regelkreisstruktur nach Fig. 1 als Reglereingänge folgende Größen:

- Regelabweichung  $e$  (P-Anteil)
- Integral der Regelabweichung  $\int e dt$  (I-Anteil)
- Ableitung der Regelabweichung  $de/dt$  (D-Anteil).

Der erfindungsgemäße Fuzzy-Regler verwendet dann für die Eingangs-Fuzzymengen im Arbeitsbereich der Eingangskenngrößen und für die Ausgangs-Fuzzymengen im Arbeitsbereich der Ausgangsstellgrößen ausschließlich jeweils zwei Zugehörigkeitsfunktionen, die im Arbeitsbereich symmetrisch um den Arbeitspunkt 0 liegen und im Arbeitsbereich den gleichen Wertebereich besitzen. Die verwendete Art bzw. Form der Zugehörigkeitsfunktion spielt dabei keine Rolle, da dies keinen Einfluß auf die prinzipielle Arbeitsweise des Fuzzy-Reglers hat.

Beispielhafte Zugehörigkeitsfunktionen sind in Fig. 3, 4, 5 und 6 angegeben. Fig. 3 gibt als Beispiel eine Zugehörigkeitsfunktion in Trapezform für die Regelabweichung  $e$  an. Fig. 4 gibt als Beispiel eine Zugehörigkeitsfunktion in Trapezform für das Integral der Regelabweichung  $\int e dt$  an. Fig. 5 gibt als Beispiel eine Zugehörigkeitsform in Trapezform für die Ableitung der Regelabweichung  $de/dt$  an. Fig. 6 gibt als Beispiel eine Zugehörigkeitsform in Singleton-Form für den Reglerausgang  $u$  an. Die jeweiligen Arbeitsbereiche sind durch A, B, C und D angegeben.

Mit diesen Einschränkungen verwendet der erfindungsgemäße Fuzzy-Regler genau zwei Regeln, welche jeweils im Prämissenteil jeweils den oder die Anteile für das gewünschte Regelverhalten enthalten.

Für PID-Verhalten lautet die Regelmenge:

wenn  $e$  = positiv und  
 $\int e dt$  = positiv und  
 $de/dt$  = positiv  
dann  $u$  = positiv.

wenn  $e$  = negativ und  
 $\int e dt$  = negativ und  
 $de/dt$  = negativ  
dann  $u$  = negativ.

Für PI-Verhalten lautet die Regelmenge:

wenn  $e$  = positiv und  
 $\int e dt$  = positiv  
dann  $u$  = positiv.

wenn  $e$  = negativ und  
 $\int e dt$  = negativ

dann  $u$  = negativ.

Für PD-Verhalten lautet die Regelmenge:

wenn  $e$  = positiv und  
 $de/dt$  = positiv  
dann  $u$  = positiv.

wenn  $e$  = negativ und  
 $de/dt$  = negativ  
dann  $u$  = negativ.

Für P-Verhalten lautet die Regelmenge:

wenn  $e$  = positiv dann  $u$  = positiv.

wenn  $e$  = negativ dann  $u$  = negativ.

Für I-Verhalten lautet die Regelmenge:

wenn  $\int e dt$  = positiv dann  $u$  = positiv.

wenn  $\int e dt$  = negativ dann  $u$  = negativ.

Für D-Verhalten lautet die Regelmenge:

wenn  $de/dt$  = positiv dann  $u$  = positiv.

wenn  $de/dt$  = negativ dann  $u$  = negativ.

Bei der Verwendung von Regelkreisstrukturen nach Fig. 2 verwendet der erfindungsgemäße Fuzzy-Regler als Reglereingänge für jede Regelabweichung  $e_i$  jeweils die Regelabweichung  $e_i$  selbst, deren Integral  $\int e_i dt$  und deren Ableitung  $de_i/dt$ .

Der erfindungsgemäße Fuzzy-Regler verwendet dann für die Eingangs-Fuzzymengen im Meßbereich der Eingangskenngrößen und für die Ausgangs-Fuzzymengen im Stellbereich der Ausgangsstellgrößen ebenfalls ausschließlich jeweils zwei Zugehörigkeitsfunktionen, die im Arbeitsbereich symmetrisch um den Arbeitspunkt 0 liegen und im Arbeitsbereich den gleichen Wertebereich besitzen. Die verwendete Art bzw. Form der Zugehörigkeitsfunktion spielt dabei ebenfalls keine Rolle, da dies keinen Einfluß auf die prinzipielle Arbeitsweise des Fuzzy-Reglers hat.

Mit diesen Einschränkungen verwendet der erfindungsgemäße Fuzzy-Regler genau zwei Regeln, welche jeweils im Prämissenteil jeweils den oder die Anteile für das gewünschte Regelverhalten für jeden Reglereingang enthalten.

Für PID-Verhalten lautet die Regelmenge:

wenn  $e_1$  = positiv und  
 $\int e_1 dt$  = positiv und  
 $de_1/dt$  = positiv und

...

$e_n$  = positiv und  
 $\int e_n dt$  = positiv und  
 $de_n/dt$  = positiv  
dann  $u$  = positiv.

wenn  $e_i$  = negativ und  
 $f_{e_i}dt$  = negativ und  
 $de_i/dt$  = negativ und

$e_n$  = negativ und  
 $f_{e_n}dt$  = negativ und  
 $de_n/dt$  = negativ  
dann  $u$  = negativ.

Bei Wegfall einer Reglereingangsgröße verkleinern sich die Prämissen der beiden Regeln um deren Anteil und der Regler verliert das Verhalten dieses Anteils.

Die Reglerparameter des erfindungsgemäßen Fuzzy-Reglers sind durch den Arbeitsbereich der verwendeten Zugehörigkeitsfunktionen gegeben und die Reglereinstellung erfolgt durch die Einstellung dieses Arbeitsbereichs. In den Beispielen aus Fig. 3—6 sind die einzelnen Arbeitsbereiche durch A, B, C und D gegeben und die Reglereinstellung erfolgt durch deren Veränderung.

Der erfindungsgemäße Fuzzy-Regler läßt sich sowohl als Softwareprogramm als auch durch Rechentechnik-Hardware-Bausteine technisch realisieren.

#### Patentansprüche

##### 1. Fuzzy-Regler unter Verwendung der Eingangsgrößen

- Regelabweichung  $e$  (P-Anteil)
- Integral der Regelabweichung  $\int e dt$  (I-Anteil)
- Ableitung der Regelabweichung  $de/dt$  (D-Anteil)

und der Stellgröße  $u$

dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangs-Fuzzymengen im Meßbereich der Eingangskenngrößen und die Ausgangs-Fuzzymengen im Stellbereich der Ausgangsstellgrößen ausschließlich jeweils zwei Zugehörigkeitsfunktionen besitzen, die im Arbeitsbereich symmetrisch um den Arbeitspunkt 0 liegen und im Arbeitsbereich den gleichen Wertebereich besitzen.

2. Fuzzy-Regler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für das PID-Verhalten des Reglers folgende aus zwei Regeln bestehende Regelmenge verwendet wird

Regel 1:

wenn  $e$  = positiv und  
 $\int e dt$  = positiv und  
 $de/dt$  = positiv  
dann  $u$  = positiv.

Regel 2:

wenn  $e$  = negativ und  
 $\int e dt$  = negativ und  
 $de/dt$  = negativ  
dann  $u$  = negativ.

3. Fuzzy-Regler nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei Wegfall einer Eingangsgröße sich die Prämissen der beiden Regeln um deren Anteil verkleinern und dadurch der Regler das Verhalten dieses Anteils verliert.

4. Fuzzy-Regler nach den Ansprüchen 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei Verwendung weiterer Eingangsgrößen  $e_i$ ,  $i = 2 \dots n$ , sich die Prämissen der beiden Regeln der Regelmenge um jeweils folgenden Ausdruck erweitern:

Regel 1: und  $e_i$  = positiv  
Regel 2: und  $e_i$  = negativ

5. Fuzzy-Regler nach den Ansprüchen 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei Verwendung weiterer Eingangsgrößen  $f_{e_i}dt$ ,  $i = 2 \dots n$ , sich die Prämissen der beiden Regeln der Regelmenge um jeweils folgenden Ausdruck erweitern:

Regel 1: und  $f_{e_i}dt$  = positiv

Regel 2: und  $f_{e_i}dt$  = negativ.

6. Fuzzy-Regler nach den Ansprüchen 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei Verwendung weiterer Eingangsgrößen  $de_i/dt$ ,  $i = 2 \dots n$ , sich die Prämissen der beiden Regeln der Regelmenge um jeweils folgenden Ausdruck erweitern:

Regel 1: und  $de_i/dt$  = positiv

Regel 2: und  $de_i/dt$  = negativ.

7. Fuzzy-Regler nach den Ansprüchen 1, 2, 3, 4, 5 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Realisierung einer Vorzeichenumkehrung der Stellgröße  $u$  durch den Regler sich die Konklusionen der beiden Regeln der Regelmenge jeweils in folgenden Ausdruck ändern:

Regel 1: dann  $u$  = negativ

Regel 2: dann  $u$  = positiv

8. Fuzzy-Regler dadurch gekennzeichnet, daß er mehrere Fuzzy-Regler nach den Ansprüchen 1, 2, 3, 4, 5, 6 und 7 in sich vereinigt.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

BEST AVAILABLE COPY

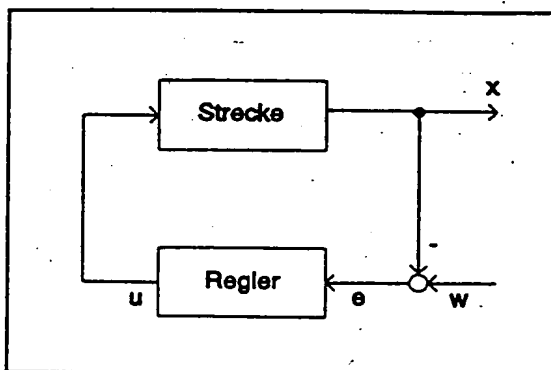


Fig. 1

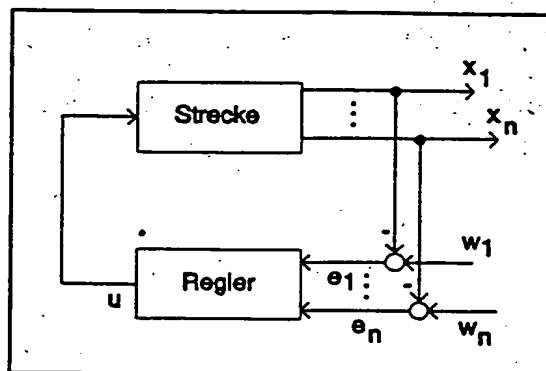


Fig. 2

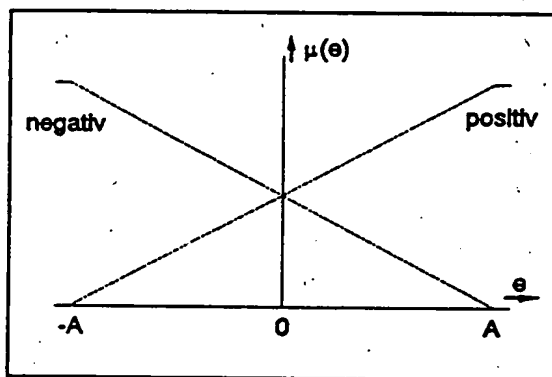


Fig. 3

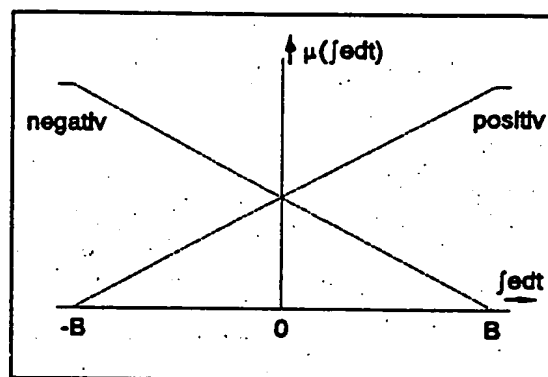


Fig. 4

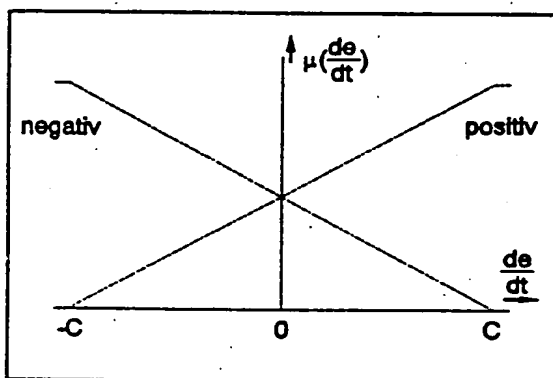


Fig. 5

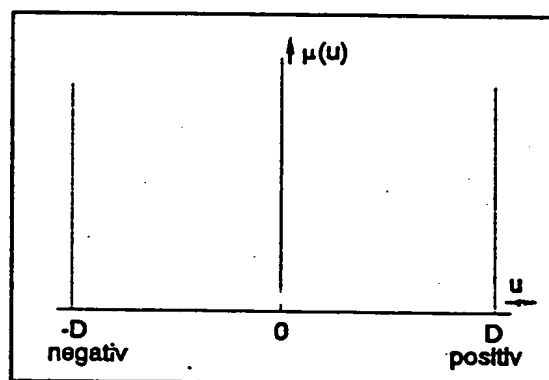


Fig. 6